

Site urbain contaminé par les solvants chlorés: assainissement et sécurité

Simon Pinzelli, ingénieur géologue & hydrogéologue CHYN, CSD Ingénieurs Conseils SA, Genève

Dans les problématiques de sites contaminés, les solvants chlorés ont des caractéristiques chimiques particulières: leur densité fait qu'ils peuvent s'accumuler en phase pure (non dissous) dans les terrains sous-jacents, en constituant des «réservoirs» difficiles à identifier et à traiter. Par ailleurs, leur toxicité peut créer des dangers pour le voisinage, lors des travaux d'assainissement et en particulier en milieu urbain dense, qui doivent faire l'objet d'analyses et de mesures spécifiques.

Des activités de blanchisserie et de nettoyage à sec se sont déroulées sur une longue période, entre 1896 et 2006, sur un site industriel genevois. L'investigation préalable réalisée a révélé que cette activité industrielle a conduit à une pollution du terrain et de la nappe d'eau souterraine par des solvants chlorés nécessitant un assainissement au sens de l'OSites. En outre, deux accidents produisant des déversements d'hydrocarbures se sont produits sur le site.

Dans le cadre de l'investigation de détail et pour définir le projet d'assainissement, différents outils de modélisation ont été utilisés. Les buts sont d'estimer la mise en danger des biens à protéger (l'eau souterraine et l'air) pour fixer les objectifs et moyens d'assainissement selon l'OSites, et de préciser les dangers pour les récepteurs sensibles dans le voisinage du site afin de définir les mesures d'hygiène et de sécurité spécifiques à prendre pendant les travaux.

La présence conjointe d'une pollution aux hydrocarbures (mazout) crée des conditions particulières qui influencent le comportement des solvants chlorés, et les méthodes d'assainissement.

Historique du site

L'investigation historique a permis de mettre en évidence trois principaux foyers potentiels de pollution du terrain, à savoir les emprises des machines de nettoyage à sec polluées par des solvants chlorés et la pollution au mazout le long de la façade de l'usine (voir Fig. 1).

Situation géographique, géologique et hydrogéologique

On trouve à proximité du site des lieux sensibles tels que garderie, parc public, hôpital, bureaux et immeubles d'habitations. Le récepteur sensible le plus proche est très proche, à environ 5 mètres du

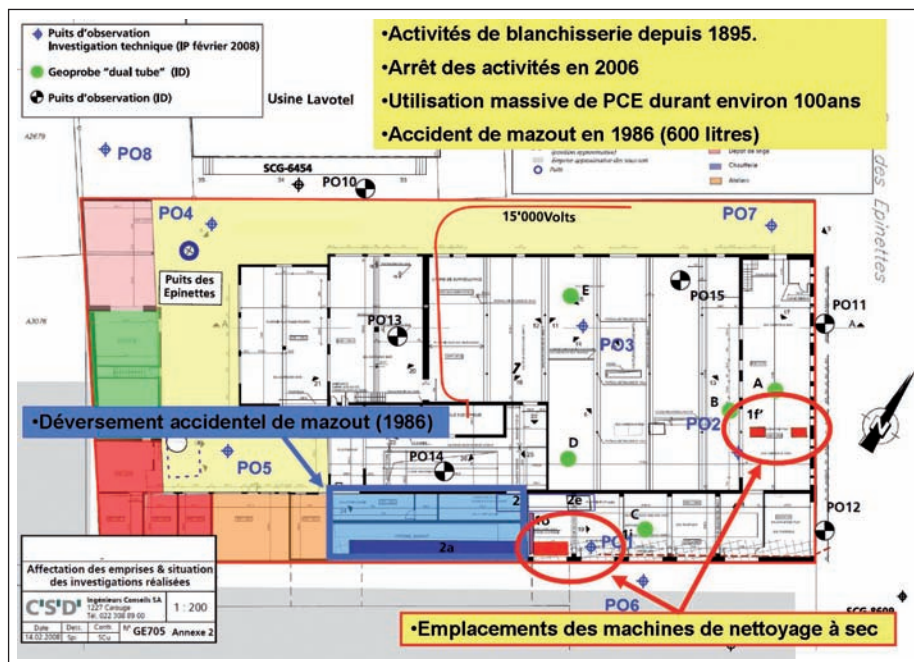


Fig. 1: Foyers potentiels de pollution.

foyer, nécessitant une analyse précise des risques lors de l'assainissement du site.

La stratigraphie a été précisée par les sondages et peut être résumée ainsi:

- Terrains de couverture (de 0 à 1,5 m de profondeur) constitués de limons sableux, parfois graveleux.
- Alluvions de la terrasse de l'Arve (entre 1,5 et 4,0 m): formation de sables graveleux perméables.
- Formation supraglaciaire de retrait würmien: formation considérée comme très faiblement perméable d'une épaisseur de 90 m environ.
- Substratum molassique dès 95 m, considéré comme imperméable.

La caractéristique déterminante pour l'assainissement est la présence d'une forma-

tion très peu perméable, qui limite en profondeur l'aquifère abritant une nappe superficielle à une profondeur maximum d'environ 4,5 m, et dont la topographie influe sur l'épaisseur de la nappe qui varie au droit du site entre 0,5 et 1,0 m. Cette nappe ne présente pas d'intérêt pour l'alimentation en eau destinée à l'usage public; en revanche, elle constitue un bien à protéger au sens de l'OSites. Elle s'écoule naturellement à l'échelle régionale vers le nord avec un gradient hydraulique faible de l'ordre de 0,5‰.

Immédiatement au sud-est, deux niveaux de sous-sol, interceptant la totalité de l'aquifère, forment un obstacle remarquable à l'écoulement naturel de la nappe.

Pollution des terrains et des eaux souterraines

Le foyer initial de la pollution aux solvants chlorés est lié aux machines de nettoyage à sec au perchloréthylène (PCE). Lors des interviews réalisées dans le cadre de l'investigation historique, aucune mention n'a été faite sur d'éventuels incidents ou accidents liés à la gestion du perchloréthylène; dans ces conditions, la pollution est liée probablement à de faibles fuites répétées de type «goutte à goutte».

La présence de produit en phase pure a été reconnue sur une épaisseur d'environ 20 cm au droit du foyer. Ce produit, peu visqueux et plus dense que l'eau, peut alors migrer en suivant la topographie du toit de la formation peu perméable et s'étendre dans une direction différente de celle de la nappe superficielle.

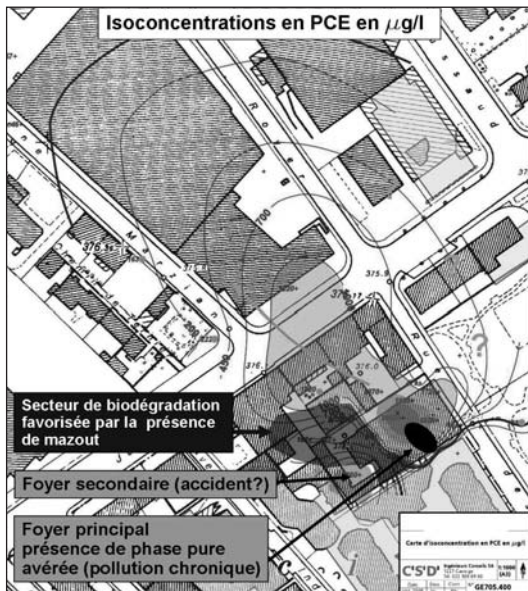


Fig. 2: Carte d'isoconcentration du PCE en microgrammes/litre.

Les mesures in situ et les analyses de terrain réalisées indiquent la migration verticale de la pollution aux solvants chlorés jusqu'à une profondeur de 7 m au droit du foyer de pollution et d'une extension latérale limitée à l'emprise du site en direction de la zone nord-ouest du site.

Un total d'environ 500 à 700 kg de PCE est ainsi estimé dans les terres, auquel il convient d'ajouter la quantité de produit pur de la «flaque» présente au droit du foyer, évaluée en première approche à environ 500-600 kg. Le total de produit présent au droit du site se situerait donc entre environ 1000 et 1300 kg.

En l'état des connaissances, la source actuelle de la pollution est ainsi constituée non seulement par le secteur des machines de nettoyage à sec, mais aussi des multiples «flaques» secondaires de solvants.

Ces sources génèrent un panache de pollution dissoute dans la nappe superficielle migrant hors de la limite parcellaire du site (voir Fig. 2).

La dimension du panache de pollution en aval hydraulique du site est estimée à environ 200 m de long sur environ 100 m de largeur. Sa forme, relativement large et courte compte tenu des caractéristiques de l'aquifère, est à mettre sur le compte d'une diffusion importante relativement à l'advection.

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines prélevées au droit du site indiquent la présence d'une zone présentant des conditions anaérobies (sans oxygène dissous) où une dégradation des solvants chlorés est à l'œuvre. Les variations spatiales des conditions de dégradation des solvants chlorés sont à mettre directement en lien avec la présence de la pollution résiduelle au mazout.

Le flux de PCE transporté par le panache est estimé, sur la base des paramètres hydrodynamiques de la nappe recueillis

lors d'essais de pompage, en moyenne à environ 5 g/m²/jour.

Buts et urgence de l'assainissement

L'Ordonnance sur les sites contaminés indique que: «*Pour apprécier les buts et l'urgence de l'assainissement, les données suivantes sont identifiées dans le détail et évaluées sur la base d'une estimation de la mise en danger:*

- a. type, emplacement, quantité et concentration des substances dangereuses pour l'environnement présentes sur le site pollué ;
- b. type des atteintes à l'environnement effectives et possibles, charge et évolution de ces atteintes dans le temps;
- c. emplacement et importance des domaines environnementaux menacés.; (...) Protection des eaux souterraines, (...), Protection contre la pollution atmosphérique.

L'estimation de la mise en danger du site a mis en évidence les principaux éléments suivants:

- Les eaux analysées contiennent des concentrations élevées en solvants chlorés, en particulier du perchloréthylène (PCE) et de ses produits de dégradation: trichloréthylène (TCE), isomères du 1,2-dichloréthène (1,2-DCE) et chlorure de vinyle (CV), qui dépassent tous par endroit le double de la valeur de concentration OSites.
- Les résultats d'analyse sur les eaux souterraines prélevées en aval, à proximité directe de la limite parcellaire et hors de toute zone de manipulation, montrent un dépassement pour certains polluants du double de la valeur de concentration OSites.
- Du PCE est présent en phase pure en fond d'aquifère au droit d'une des anciennes machines de nettoyage à sec.

- La pollution est dissoute et transportée en un panache par les eaux souterraines de la nappe avec un flux estimé à environ 5 g/m²/jour.
- Les processus de dégradation sont favorisés au droit du site, mais relativement inexistant dans le restant de la nappe.
- Le panache est stationnaire selon les modélisations et les analyses en laboratoire.
- L'extension du panache de contamination lié au foyer de pollution a pu être caractérisée plus précisément par les biais d'investigations complémentaires.
- Une contamination de l'air interstitiel par volatilisation des solvants chlorés présents dans la nappe (PCE, TCE, 1,2-DCE, CV) se produit tant au droit du site qu'en aval du site.

Mise en danger avant l'assainissement

Une modélisation hydrodynamique (advection / dispersion et transport de masse) a permis de reproduire le comportement de la nappe et de son panache de pollution. Cette simulation a également permis de confirmer la stationnarité du panache de pollution. Une autre simulation de la dégradation des solvants chlorés a permis de confirmer qu'il n'y a pas d'évolution significative du panache dans le temps, tant au niveau des concentrations des différents produits de dégradation que dans son extension.

La présence d'habitations sur cave en aval hydraulique du site a nécessité l'évaluation du risque de volatilisation des solvants dans les bâtiments et donc de la mise en danger éventuelle de la population. Pour ce faire, les équations de Johnson & Ettinger ont été utilisées afin de simuler l'intrusion de vapeurs de solvants au travers des radiers des bâtiments et d'estimer les concentrations attendues dans ces derniers (*voir schéma conceptuel*

en Fig. 3). Cette approche a permis d'évaluer le risque d'exposition des récepteurs sensibles à la pollution de la nappe avant l'assainissement. Il s'est avéré qu'il n'y avait aucune mise en danger de la population préalablement à l'assainissement.

Mise en danger pendant l'assainissement

Afin d'établir la solution d'assainissement définitive et de proposer les mesures de protection nécessaires du chantier, une évaluation des risques induits par l'excavation des matériaux contaminants a été effectuée. Il s'agissait notamment de déterminer si la mise en place d'un confinement physique du chantier était nécessaire. Pour ce faire, l'utilisation du logiciel EFFECTS a permis de calculer les valeurs d'immission attendues au droit des récepteurs sensibles lors de l'excavation du site.

Deux scénarios d'émission ont été évalués dans un premier temps permettant de déterminer le flux attendu au droit de la zone de travail :

- Cas 1 : Dégazage de PCE lors de l'excavation des alluvions fortement polluées.
- Cas 2 : Volatilisation du PCE en produit pur selon deux origines lors de l'excavation en présence de :
 - > Polluant en phase libre localisé à la base de la nappe.
 - > Polluant en phase libre en imprégnation de la frange superficielle des argiles.

Le calcul du flux de dégazage lié au cas N° 1 est basé sur les lois de Henry et Karickhoff. Ces équations permettent de déterminer la concentration attendue de l'air interstitiel des alluvions et de ce fait de calculer le flux émanant de la zone de travail. L'hypothèse de travail se base sur les concentrations maximales observées et pour un volume d'excavation de 150 m³ par jour réparti sur 9 heures.

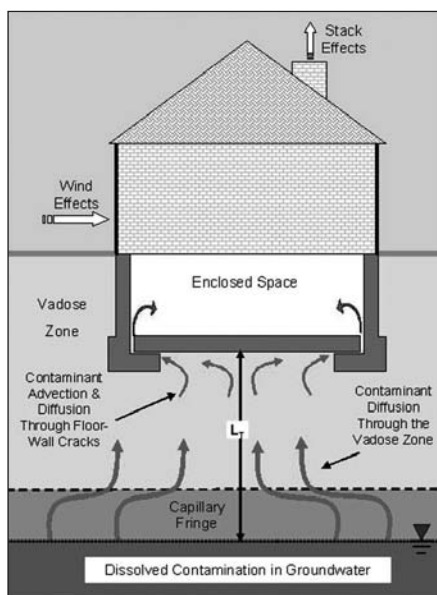


Fig. 3: Modèle conceptuel d'intrusion vapeur depuis une nappe contaminée.

Le calcul du flux de dégazage lié au cas N° 2 est basé sur le modèle de MacKay et Matsugu qui permet de calculer le flux d'évaporation d'une flaque de produit non bouillant, c'est-à-dire dont le point d'ébullition est inférieur à la température ambiante ou à la température du sol. Le flux d'évaporation d'une flaque de produit non bouillant va principalement dépendre de la vitesse à laquelle les vapeurs formées à la surface de la flaque vont être éliminées par le vent.

Calcul de la dispersion atmosphérique

Cas 1 & 2 : Une fois les valeurs d'émission et donc de flux émanant du site en cours d'excavation obtenues, il a été possible d'estimer, par l'intermédiaire du logiciel EFFECTS, les valeurs d'immission attendues au droit des récepteurs sensibles du voisinage. Les conclusions de ces

simulations indiquent la nécessité de mettre en place un système de confinement physique de l'air du chantier.

Mise en danger après l'assainissement

La variante d'assainissement retenue consiste à réaliser, par l'intermédiaire de parois moulées fichées dans l'imperméable, un confinement hydraulique du site et d'excaver les matériaux contaminés.

Une évaluation du risque résiduel après l'assainissement du site a été effectuée, pour analyser deux points spécifiques :

1. Risques éventuels liés à l'évolution de la nappe polluée en aval.
2. Risques liés aux éventuelles teneurs résiduelles des matériaux laissés en place.

L'estimation du risque résiduel associé à la pollution résiduelle de la nappe a été appréhendée par simulation hydrodynamique. Cette simulation a permis de montrer que le panache se résorberait en une période allant de deux à trois ans, et ce, sans augmentation des produits de dégradation. Cette simulation a du même coup permis de valider l'efficacité de la variante d'assainissement proposée et de proposer le traitement de la nappe en tant que mesure complémentaire optionnelle.

L'estimation du risque résiduel associé à la pollution des terrains laissés en place a été appréhendée à l'aide des équations de Johnson & Ettinger, permettant de simuler la concentration attendue des différents produits en présence dans le futur bâtiment. Cela a permis du même coup de définir la valeur de concentration maximale à atteindre dans les terrains laissés en place et de préciser les volumes de purges des terrains à réaliser dans le cadre du projet constructif.

Conclusions

Les solvants chlorés ont des propriétés et un comportement très particuliers. L'utilisation de modèles classiques combinant sources, transports et concentration n'est pas suffisante pour définir les dangers, les objectifs et les scénarios d'assainissement. En complément aux investigations techniques et aux analyses de laboratoire, l'utilisation combinée de modélisations numériques est alors très utile pour établir la biodégradation des solvants et évaluer le comportement de la nappe et du panache de pollution en aval du site avant et après enlèvement des foyers de contamination.

Le flux de polluants potentiellement dégazés depuis le chantier et leur dispersion atmosphérique peuvent être évalués par le logiciel EFFECTS préalablement aux travaux d'assainissement, afin de déterminer les mesures spécifiques à mettre en œuvre en termes de protection du voisinage et des intervenants.

Le modèle JOHNSON & ETTINGER est un outil intéressant pour évaluer le dégazage de la pollution avant, pendant et après les travaux et évaluer le potentiel de danger pour la population et en déduire des objectifs de résultats pour l'assainissement.

La présence conjointe de pollution aux hydrocarbures peut modifier fortement le comportement et la dégradation des solvants chlorés. Ceci nécessite alors une approche spécifique. □

Pour plus d'informations:

CSD Ingénieurs Conseils SA
Av. Industrielle 1
1227 Carouge
Tél. : 022 308 89 00
s.pinzelli@csd.ch